Die stoffliche Aufteilung der Kohlesubstanz und ihre Wärmeverteilung

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der hohen naturwissenschaftlichen Fakultät der Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Diplomingenieur Karl Rintelen
aus Ahlen (Westfalen)

Halle a. S. 1932

Gedruckt bei Joseph Hansen in Telgte i. Westf.

Referent: Geheimrat Professor Dr. Vorländer
Correferent: Professor Dr. Tubandt

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Mai 1932

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis

Allgemeines 5
Beschreibung der untersuchten Proben 7
Versuchsführung 8
Stoffbilanz 10
1. Verhältnis flüchtige Stoffe zum fixem C 11
2. Vergleich der Koks-, Teer-, Gasausbeute 12
3. Zersetzungswasser 13
4. Prozentuale Gaszusammensetzung 14
5. Spezifisches Gewicht des Gases 14
6. Gasanteile in m^3/kg Reinkohle 15
Wärmebilanz 16
1. Koks-, Teer-, Gaswärmeanteil 17
2. Wärmeverlust 19
Zusammenfassung 19
Literaturverzeichnis 21
Tabellen 22

Allgemeines.

Die bisher angewandten Methoden zur praktischen Untersuchung fester Brennstoffe boten nicht die Möglichkeit der exakten stofflichen Aufteilung der Kohlesubstanz. Die thermische Aufspaltung, die unter den verschiedenen Untersuchungsmethoden für Kohle die größte Rolle spielt, gestattet im Wege der Tieftemperaturvergasung unter Beobachtung bestimmter Regeln zu durchaus vergleichbaren Resultaten zu gelangen hinsichtlich Menge und Zusammensetzung von Halbkoks, Teer und Gas. Der Teer scheint durch diese Entgasung hinreichend definiert und genügend erfaßt (1) zu sein. Das gilt aber nicht für den Schwelkoks und das Gas. Der bei der Tieftemperatur anfallende Schwelkoks ist ein undefiniertes Produkt, das noch erhebliche Mengen von Kohlesubstanz enthält, die bei der Erhitzung auf höhere Temperaturen weitere Mengen flüchtiger Stoffe abzugeben vermag. Durch sinngemäße Verbindung der Tieftemperatur- mit der Hochtemperaturentgasung ist die Möglichkeit gegeben, eine exakte stoffliche Aufteilung der Kohlesubstanz in Koks, Teer und Gas vorzunehmen. Der Entgasungsrückstand bei 1000 ° ist ein praktisch völlig ausgegarter Koks (2), und auch das bei dieser hohen Temperatur anfallende Gas ist eindeutig definiert.

Die Entgasung der Kohle im V_2A — Stahlapparat bietet uns die bisher fehlende Möglichkeit der exakten stofflichen Aufteilung der Kohlesubstanz in Koks, Teer und Gas und damit der Verteilung der im Brennstoff vorhandenen Wärme auf die einzelnen Spaltprodukte. Die Verbrennungswärme der Kohle ist also aufzulösen in den

Kokswärmeanteil,
Teerwärmeanteil
und Gaswärmeanteil.

Die Summe dieser drei Anteile kann nur dann der im rohen Brennstoff verfügbaren Wärmemenge, der Verbrennungswärme des Brennstoffes, entsprechen, wenn die Aufspaltung der Kohle ohne Ablauf von Wärmetönungen erfolgt. Dies ist praktisch nie der Fall, da wir wissen, daß die Entgasung der Kohlen unter Wärmetönungen verläuft, und zwar mehr oder minder stark exotherm bei den niederwertigen Kohlen, schwach endotherm oder ohne Wärmetönung bei den hochwertigen Steinkohlen. Die Summe von Kokswärmeanteil, Teerwärmeanteil und Gaswärmeanteil wird darum praktisch fast stets etwas kleiner sein als die Verbrennungswärme des rohen Brennstoffes, und in die weiter oben angegebene Auf-

teilung der Kohlenwärme wird darum noch als 4. Faktor die Wärmetönung einzuführen sein.

Dieser Wärmetönung entsprechen bestimmte Umsetzungen während der Entgasung des Brennstoffes, die sich in erster Linie ausdrücken durch die Bildung von

Zersetzungswasser,
Kohlensäure
und Kohlenoxyd

im Destillationsgas. Es ist jedoch nicht möglich, aus dem durch Verschwelung im V_2A — Stahlapparat festgelegten Umfang dieser Wärmetönungen auf die gleichzeitig stattgefundenen exothermen Reaktionen zu schließen und zwar aus dem Grunde, weil für die Bildung von Zersetzungswasser, Kohlenoxyd und Kohlensäure nicht die einfachen Umsetzungen eingesetzt werden können:

$$H_2 + {}^1/_2\ O_2 = H_2O + 34\ 166\ \text{WE/kg}\ H_2$$
$$C + {}^1/_2\ O_2 = CO + 2\ 442\ \text{WE/kg}\ C$$
$$C + O_2 = CO_2 + 8\ 080\ \text{WE/kg}\ C$$

Die Bildung von Zersetzungswasser, Kohlenoxyd und Kohlensäure geht vielmehr von unbekannten Zwischenstufen der Verbrennung aus und ist auf thermischem Wege nicht zu erfassen.

1893 hat Mahler als erster versucht, zahlenmäßig festzustellen, ob der Verkokungsvorgang von einer Wärmetönung begleitet ist, nachdem schon früher der Ablauf wärmeentwickelnder Vorgänge dabei vermutet worden ist. Er baute seine Methode zur Bestimmung der Zersetzungswärme auf der Ueberlegung auf, daß die gesamte Verbrennungswärme der Kohle, falls der Verkokungsvorgang nicht von wärmeentwickelnden bzw. wärmebindenden Reaktionen begleitet ist, sich quantitativ auf die Entgasungsprodukte Koks, Teer und Gas verteile und infolgedessen der Summe der Verbrennungswärme dieser Stoffe, bezogen auf eine bestimmte Kohlenmenge, gleich sein müsse; für den Fall einer Wärmeentwicklung beim Verkokungsprozeß würde die Summe der Verkokungsprodukte um diesen selben Betrag kleiner und für den Fall einer Wärmebindung bei der Verkokung um den jeweiligen Betrag größer sein als die Verbrennungswärme der Kohle. Die Zersetzungswärme der Kohle muß sich danach für eine bestimmte Verkokungstemperatur aus den Mengenausbeuten bei der Verkokung und den Heizwerten von Kohle, Koks, Teer und Gas berechnen lassen. Die Schwierigkeit liegt in der quantitativen Erfassung der Entgasungsprodukte (3).

Diese Schwierigkeiten werden durch den von Dolch (4) vorgeschlagenen Untersuchungsweg in weitem Maße behoben. Die Verbindung der Tieftemperaturentgasung nach Fischer (5) in der Alumiumapparatur mit der Hochtemperaturentgasung in der V_2A — Stahlretorte bietet die bisher fehlende Möglichkeit, die Entgasungsprodukte mit hinreichender Genauigkeit zu erfassen, so die

thermische Aufteilung der Brennstoffe vorzunehmen und mit größerer Sicherheit die Wärmetönung und Wärmeverteilung bei der Entgasung zu bestimmen.

Neben der thermischen Aufspaltung bietet dieser Analysengang den Vorteil, die entstehenden Schwelprodukte hinsichtlich ihrer chemischen Beschaffenheit definieren und kennzeichnen zu können. Die bisher übliche Kombinierung von Tieftemperaturentgasung und Immediatanalyse oder Röhrchenentgasung und Immediatanalyse kann bei weitem nicht die Fehlergrenze so eng ziehen wie die Hochtemperaturentgasung im V_2A — Stahlapparat, schon aus dem einfachen Grunde, weil bei der Kurzuntersuchung und bei der Röhrchenentgasung weder die Höhe der Versuchstemperatur noch der Temperaturanstieg auch nur einigermaßen gleichgehalten werden kann; denn bei beiden Analysen wird mit freiem Bunsenbrenner gearbeitet. Die Hochtemperaturentgasung geht unter stets gleichem Temperaturanstieg vor sich und zwar 100 ° pro 15 Minuten, die bei allen Versuchen eingehalten wird, und daher stets reproduzierbare Ergebnisse gestattet.

Es lag nun nahe, Stoff- und Wärmebilanz miteinander zu verbinden und auf Grund der Untersuchungsergebnisse die Brennstoffe zu kennzeichnen, Uebereinstimmungen und Verschiedenheiten im Verhalten bei der Verschwelung zu beobachten und die Stoffausbeuten und Wärmeinhalte zum Vergleich zu stellen. Zu diesem Zweck wurden 7 Brennstoffproben ausgewählt, die in großen Zügen alle Arten der Brennstoffe hinsichtlich ihres Inkohlungsgrades und damit auch ihrer chemischen Zusammensetzung umfaßt.

Untersuchte Brennstoffe.

1. **Torf:** Als Brennstoff rezenter Bildung mit der jüngsten Inkohlungsstufe wurde ein Torfbrikett von Westermoor analysiert.

2. **Mitteldeutsche Braunkohle:** Die Kohle der Hermanngrube der Riebeckschen Montanwerke wurde dem freigebaggerten Liegenden in etwa ½ m Tiefe entnommen. Diese Kohle entstammt dem älteren Tertiär, der sogenannten älteren Braunkohlenformation Deutschlands (6).

3. **Lignitische Braunkohle:** Der untersuchte „Schwartling" von Wolfsegg in Oberösterreich hat ausgesprochen holziges Gefüge. Die Struktur läßt erkennen, daß diese Kohle aus langfaserigem Stammholz entstanden ist. Geologisch zählt der „Schwartling" zur neozoischen Gruppe des Pliozän.

4. **Nordamerikanische Braunkohle:** Die Braunkohle von Dakota ist amorph und entbehrt praktisch jeden Gefüges. Sie gehört den gleichen geologischen Formationen an wie die lignitischen Kohlen, also dem jüngeren Tertiär, hat aber im allgemeinen einen bedeutend höheren Inkohlungsgrad.

5. **Pechkohle:** Die oberbayrische Pechkohle ist im Aussehen den Steinkohlen ähnlich. Geologisch gehört sie zu den jüngeren deutschen Braunkohlen, die dem oberen Oligozän entstammen und unter dem Einfluß starker tektonischer Wirkungen Pechkohlencharakter angenommen haben.

6. **Kohle in Mittelstellung zwischen Steinkohle und Braunkohle:** Eine Redenkohle aus Oberschlesien, die keinerlei ausgesprochenes Gefüge erkennen läßt. Sie gehört der mesozoischen Gruppe an.

7. **Anthrazitische Steinkohle:** Der Anthrazit stammt aus der Grube Rothschild des Ostrauer Steinkohlenreviers. Die Bildung der Pflanzen, die nach der Inkohlung den böhmischen Anthrazit lieferten, reicht bis in den Silur zurück.

Die Kohlen 2, 3, 4, 6 wurden vor Ort unter ausgekochtem Wasser in Blechdosen luftdicht verpackt, und bis zur Untersuchung so vor oxydierenden Einflüssen geschützt.

Versuchsführung.

Für die praktische Durchführung der Versuche ist folgender Weg eingeschlagen worden:

1. **Immediat- oder Kurzuntersuchung:**

Wasser: Der Wassergehalt wird durch 2stündiges Trocknen bei 105 ° im inerten Gasstrom (Kohlensäurestrom) ermittelt.

Koks: Die getrocknete Probe wird im Wasserstoffstrom verkokt, indem man die in gleichen Rosetiegeln befindliche Kohle vorsichtig bis zur Entgasung erhitzt, dann 10 Minuten lang über der Bunsenflamme ausgart und im Wasserstoffstrom erkalten läßt.

Asche: Die verkokte Probe wird über freier Flamme verascht.

Die folgenden Werte errechnen sich aus den gefundenen Resultaten:

fixer Kohlenstoff: = Koks — Asche.

flüchtige Stoffe: = 100 — (Wasser + Asche + fixer C)

Reinkohle: = 100 — (Asche + Wasser).

2. **Die Hochtemperaturentgasung im V_2A-Stahlapparat:**

Die Verschwelung der Kohle wird in der von Dolch beschriebenen V_2A-Stahlapparatur bis 1000 ° in einem Zuge gehend vorgenommen. Eine möglichst gleichmäßige, fein gekörnte Probe von ca. 20 g Rohkohle wird in die V_2A-Stahlretorte eingewogen. Die Erhitzung dieser Retorte erfolgt in einem kleinen Widerstandsofen, dessen Temperaturregulierung durch einen Widerstand von 1 bis 10 Kohlenfadenlampen erfolgt und dessen Temperaturanstieg durch ein Thermoelement kontrolliert wird. In einem wassergekühlten Vorlagesystem werden die kondensierbaren Zersetzungsprodukte — Gesamtwasser und Teer — verdichtet. Etwa vom

Gasstrom weiter mitgerissene Teernebel werden in einem hinter die Teervorlage geschalteten, mit Watte gefüllten U-Rohr aufgefangen und gewichtsmäßig erfaßt. Diese Anordnung erweist sich als zweckmäßig, da ohne dieses U-Rohr stets geringe Teernebel in den Gasometer gelangten, die bisher nicht zu erfassen waren. Das Gas wird in einem Gasometer über gasgesättigter konzentrierter Kochsalzlösung als Sperrflüssigkeit gesammelt. Die Druckregulierung erfolgt in einfacher Weise mittels eines Meßzylinders, zu dem durch eine Schlauchleitung beweglich gemacht die Gasometerabflußleitung führt. Er dient also als Niveaugefäß und gleichzeitig zur Aufnahme und Messung der durch Gasbildung verdrängten Gasometerflüssigkeit. Ein zwischen U-Rohr und Gasometer angebrachtes Quecksilbermanometer gestattet die Ueberwachung und Regelung des Druckes in der Apparatur. Bis zum Austreiben der teerigen Bestandteile muß die Erhitzung sehr langsam vor sich gehen, um Ueberhitzung des Teeres und damit seine thermische Zersetzung zu verhindern. Die Erhitzung wird dann bis zu einer Höchsttemperatur von 1000 ° nach einem für alle Versuche gleichen Zeit-Temperatur-Diagramm getrieben. Eine vollständige Ausgarung ist 15 bis 20 Minuten nach Erreichen dieser Temperatur erzielt.

Koks: Nach dem Erkalten in der Apparatur unter Luftabschluß wird der Koks in einem mit Glasschliff versehenen Wiegegläschen gewogen und zur Heizwertbestimmung im Exsikkator aufbewahrt.

Gesamtwasser: Die in flüssigem Aggregatzustand erhaltenen Reaktionsprodukte werden gewogen und das Gesamtwasser durch Destillation mit Xylol nach Erdmann (7) ermittelt.

Teergehalt: Aus der Differenz (kondensierbare Zersetzungsprodukte — Schwelwasser) wird der Teergehalt errechnet.

Gas: Die Gasmenge ist durch die Menge des ausgeflossenen Sperrwassers gegeben und ist auf trockenes Gas von 0 °, 760 mm umzurechnen.

Gasanalyse: Bei der Gasanalyse wird die von Dietz, Grünert und Noack (8) vorgeschlagene Methode zur Trennung von Schwefelwasserstoff, Kohlendioxyd und dampfförmigen Kohlenwasserstoffen angewandt. Der Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen wird durch Absorption derselben mittels rauchender Schwefelsäure, der Sauerstoff mittels gelben Phosphors, das Kohlenoxyd in bekannter Weise mittels ammoniakalischer Kupferchlorür-Lösung bestimmt. Die Trennung von Wasserstoff und Methan + Homologe erfolgt durch fraktionierte Verbrennung über Kupferoxyd nach Jäger (9).

Spezifisches Gewicht des Gases: Das spezifische Gewicht des Gases wird nach der Methode von Schilling (10) für wassergesättigtes Gas bezogen auf wassergesättigte Luft = 1,293 bestimmt.

Heizwert des Gases: Zur Heizwertbestimmung des Gases dient das Explosionskalorimeter nach Strache — Kling (11).

3. **Wasserwert:** Neben der Bestimmung des Wassers durch Trocknung wird die kryohydratische Wasserbestimmung nach Dolch-Strube (12) vorgenommen und der hierbei gefundene Wert zur Ermittlung des Zersetzungswassers = Gesamtwasser — kryohydratisches Wasser in Rechnung gestellt.

4. Fischerverschwelung: Im Aluminiumschwelapparat nach Fischer (13) wird der Teer für die Heizwertbestimmung gewonnen. Die ca. 100 g Rohkohle fassende Retorte wird bis auf 540 ° erhitzt, eine Temperatur, bei der die Entteerung der Kohle vollendet ist. Der Teer wird in einer Kühlvorlage zusammen mit dem Schwelwasser kondensiert. Nach dem Erkalten und Erhärten des Teers wird das Wasser abgegossen. Da der so gewonnene Teer noch immer geringe Mengen Wasser kolloidal festhält, wurde versucht, durch Zentrifugieren in einer Heizzentrifuge bei 60 ° diese Emulsion von Wasser in Teer zu zerstören und das Wasser abzuscheiden. Die Versuche verliefen negativ. Es mußte also ein anderer Weg gefunden werden. Nach dem Abgießen des Schwelwassers wird der Teer bei 60 ° filtriert, um die vom Gasstrom beim Verschwelen etwa mitgerissenen Koksteilchen zu entfernen. Von diesem Teer wird der Heizwert bestimmt und der Wassergehalt durch Destillation mit Xylol ermittelt. Der Heizwert wird dann auf wasserfreien Teer berechnet.

5.Heizwertbestimmung: Der Heizwert von Kohle, Koks und Teer wird in bekannter Weise in der Verbrennungsbombe aus V_2A-Stahl bestimmt.

Stoffbilanz.

An Hand von Tabellen und Diagrammen werden die Ergebnisse der Versuche erörtert. Die Uebersicht am Schluß der Arbeit enthält sämtliche Werte, wie sie sich aus der Verschwelung und den übrigen Versuchen für die einzelnen Brennstoffe ergeben. Ein direkter Vergleich dieser Zahlen scheint kaum möglich zu sein. Steht man doch hier vor der Schwierigkeit, Produkte zueinander in Beziehung zu setzen, die — wie Steinkohlenteer und Braunkohlenteer — sowohl hinsichtlich der Zusammensetzung der einzelnen Produkte in den beiden Gruppen, als auch hinsichtlich der beiden Gruppen selbst große Schwankungen zeigen. Hinzu kommt, daß der Wasser- und Aschegehalt des Brennstoffes für die technische Kennzeichnung von außerordentlicher Bedeutung ist, für die wissenschaftliche Beurteilung und Vergleichbarkeit aber keine geeignete Grundlage bietet. Diese Ueberlegungen führen dazu, einen gemeinsamen Nenner für die einzelnen Produkte zu suchen, der nicht auf chemischem, sondern auf wärmetechnischem Gebiete

liegt. Es ist seit langem bekannt, daß hinsichtlich der Wärmeinhalte gemessen in WE/kg Reinkohle die ganze Brennstoffreihe als ein organisches Ganzes aufzufassen ist (14). Es ist zweckmäßig, diese Kennzeichnung sinngemäß für die Stoffausbeuten zu übernehmen, da zwischen Heizwert und Inkohlungszustand, bzw. zwischen Heizwert und Konstitution vielfach nicht klar erkannte, aber sichere Zusammenhänge bestehen. Scheinbar oberflächliche Zusammenhänge zwischen Steinkohle und Braunkohle — den beiden großen Gruppen der fossilen Brennstoffe — werden dann letzten Endes doch auf tiefere Zusammenhänge hinweisen.

Der Heizwert der Reinkohle ergibt folgendes Bild für den Inkohlungsgrad der Brennstoffe:

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Torf	Hermann-grube	Wolfs-egg	Dakota	Pech-kohle	Reden-kohle	Roth-schild
WE/kg Reinkohle	5 510	5 590	6 180	6 460	7 040	7 660	8 620

Die mitteldeutschen Braunkohlen gehören älteren geologischen Formationen an als die übrigen untersuchten Braunkohlen. Trotzdem zeigt sie einen niederen Inkohlungsgrad selbst als der Wolfsegger Schwartling. Das trifft im allgemeinen nicht für die mitteldeutschen Braunkohlen zu. Die Wolfsegger Kohle hat einen verhältnismäßig hohen Inkohlungsgrad. Die nordamerikanischen Braunkohlen weisen einen Heizwert der Reinkohle auf, der in dem Bereich der mitteldeutschen Kohlen liegt, trotzdem ihre Entstehung in ein jüngeres geologisches Alter fällt. Die Redenkohle hat einen für Steinkohlen sehr niedrigen Heizwert der Reinkohle und nimmt eine Mittelstellung zwischen Steinkohle und Braunkohle ein (15).

Um einen gemeinsamen Nenner für den weiteren Vergleich zu finden und eine gute Uebersicht über die Versuchsergebnisse zu erhalten, kann bei der graphischen Darstellung als Abszisse die Steigerung des Heizwertes der Reinkohle in WE/kg gewählt werden sowohl für die Stoff- als auch für die Wärmebilanz.

Die Immediatanalyse gestattet einen Vergleich zu ziehen zwischen den flüchtigen Stoffen und dem fixen Kohlenstoff. Kennzeichnend ist die Tatsache, daß der Anteil der flüchtigen Stoffe gegenüber dem fixen Kohlenstoff mit zunehmendem Inkohlungsgrad stetig abnimmt.

Verhältnis der flüchtigen Stoffe zum fixen C.

I	II	III	IV	V	VI	VII
Torf	Hermann-grube	Wolfs-egg	Dakota	Pech-kohle	Reden-kohle	Roth-schild
1,83	1,70	1,60	0,96	0,82	0,58	0,10

Während beim Torf das Verhältnis von flüchtigen Stoffen zu fixem Kohlenstoff fast wie 2:1 ist, kommen bei der anthrazitischen

Rothschildkohle auf 1 Gewichtsteil flüchtige Bestandteile 10 Gewichtsteile fixer Kohlenstoff.

Ein genaueres Bild über die Verteilung der festen, flüssigen und gasförmigen Anteile der Vergasungsprodukte bietet der Vergleich der Stoffbilanz der Verschwelung in % der brennbaren Substanz.

Gehalt an Reinkoks, Teer u. Gas in % der brennbaren Subst.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Torf	Hermann-grube	Wolfs-egg	Dakota	Pech-kohle	Reden-kohle	Roth-schild
Koks	47,7	50,5	51,5	59,5	61,6	68,6	89,1
Teer	14,6	13,5	18,9	10,1	10,8	11,3	0,6
Gas	37,7	36,0	29,6	30,4	27,6	20,1	10,3

Der Reinkoksgehalt steigt beim Torf von 48 % der brennbaren Substanz auf ungefähr 90 % beim Anthrazit, sodaß also von den niederwertigen Brennstoffen mehr als die Hälfte der brennbaren Substanz sich verflüchtigt. Auffallend ist das Verhalten der Wolfsegger Kohle, bei der der Teergehalt mit 18,9 % der brennbaren Substanz sehr hoch gegenüber den anderen Kohlen ist. Es ist bekannt, daß die Teere solcher lignitischer Braunkohlen außergewöhnlich hohe Gehalte an Sauerstoffverbindungen aufweisen und eine ganz andere Beschaffenheit und Zusammensetzung haben als die Teere von huminsäurereichen Braunkohlen, zu denen z. B. die Mehrzahl der mitteldeutschen Braunkohlen zählt. Erdmann (16) führt den hohen Teergehalt auf die Ligninsubstanzen zurück, die in diesem Stadium der Inkohlung zur Teerbildung wesentlich beitragen. Die Stoffbilanz bietet ein klares Bild über den Inkohlungsgrad der Brennstoffe. Bei den Brennstoffen der jüngsten Vergangenheit — dem Torf — ist der Gehalt an Reinkoks unter 50 % der brennbaren Substanz, bei den Braunkohlen liegt er zwischen 50 und 60 %, — nur ganz hochwertige Braunkohlen überschreiten diesen Wert — bei den Steinkohlen zwischen 60 und 85 %, und steigt bei den anthrazitischen Steinkohlen auf über 90 % der brennbaren Substanz. Analog muß natürlich der Gehalt an Teer + Gas mit steigender Inkohlung abnehmen. Diese Abnahme der flüchtigen Bestandteile der Entgasung vollzieht sich überwiegend durch das Sinken des Gasanteils in Gewichtsprozenten. Der Torf hat ungefähr 40 % Gas, die Braunkohlen von 40 bis 20 % und die Steinkohlen unter 20 % der brennbaren Substanz. Jedoch ist bei diesem Abnehmen des Gasanteils mit zunehmender Inkohlung zu bemerken, daß eine Verschiebung der Gasausbeuten zugunsten der Teerausbeuten stattfinden kann, wie sie Erdmann (17) auch für die österreichischen Braunkohlen festgestellt hat. Diese Verschiebung zeigt sich deutlich bei der Wolfsegger Kohle. Die

Kurve des Teeres weist lediglich die Tatsache vor, daß der Teergehalt der niederwertigen Brennstoffe im allgemeinen höher ist als der der hochwertigen Kohlen.

Das Konstitutions- oder Zersetzungswasser (bestimmt aus Schwelwasser — Feuchtigkeitswasser) bietet ebenfalls gute Anhaltspunkte für die Beurteilung des Inkohlungszustandes der Brennstoffe.

Gehalt an Zersetzungswasser berechnet auf Reinkohle.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Torf	Hermann-grube	Wolfs-egg	Dakota	Pech-kohle	Reden-kohle	Roth-schild
H_2O	18,9	14,0	15,3	12,1	9,7	6,1	0,5

Von fast 20 % der Reinkohle beim jüngsten Brennstoff sinkt der Gehalt an Zersetzungswasser bis auf 0,5 % bei der anthrazitischen Steinkohle. Auch hier wieder nimmt die lignitische Kohle von Wolfsegg eine Ausnahmestellung ein. Nach ihrem Gehalt an Zersetzungswasser müßte sie gleich hinter dem Torf in der Inkohlungsreihe stehen, wie das auch nach ihrem geologischen Alter der Fall ist.

Zur Betrachtung der Zusammensetzung des Gases ist zu bemerken, daß für die Wertung der Versuchsergebnisse zunächst der Stickstoffgehalt ausscheidet und mit ihm der Sauerstoffgehalt. Wie weit Sauerstoff und Stickstoff aus dem Luftinhalt der Schwelapparatur entstammen, wie weit geringe Undichtigkeiten bei der der Verschwelung Luft in die Apparatur haben eindringen lassen, wie weit endlich Sauerstoff und Stickstoff aus der Kohle stammen, ist auf diesem Wege nicht zu ermitteln. Ebenso wenig kennzeichnend für den Reaktionsverlauf sind die dampfförmigen Kohlenwasserstoffe, da ihre Anwesenheit eine mehr zufällige und von den Bedingungen der Kühlung abhängige ist; außerdem sind sie grundsätzlich zum Teer, also zur flüssigen Phase der Kohleaufteilung und nicht zum Gas zu rechnen (18). Auch die schweren Kohlenwasserstoffe spielen bei der Auswertung des bei 1000 ° gewonnenen Gases keine Rolle, da sie in so geringen Mengen bis max. 1 % das Vergleichsbild nicht wesentlich beeinflussen, zum andern aber auch nach Erdmann (19) auf Zersetzungen der Teersubstanz zurückzuführen sind. Der Schwefelgehalt ist ebenfalls ungeeignet zum Vergleich, da aus dem Gehalt an Schwefelwasserstoff nicht gleichzeitig auf den Gehalt der Kohle an Schwefel geschlossen werden darf; denn eine gewisse Menge Schwefel findet sich im Teer wieder. Kennzeichnend hingegen ist das Bild, das bei der Gegenüberstellung der 4 wichtigsten Gasbildner Kohlensäure, Kohlenoxyd, Wasserstoff und Methan gewonnen wird. Es wird zunächst der Prozentgehalt des Gases an diesen 4 Bestandteilen erörtert.

Gehalt an CO_2, CO, H_2 und CH_4 in % des Gases.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Torf	Hermann-grube	Wolfs-egg	Dakota	Pech-kohle	Reden-kohle	Roth-schild
CO_2	28,1	20,2	16,8	16,8	12,2	7,1	1,0
CO	16,8	17,8	16,9	16,2	13,4	12,8	3,0
H	27,0	28,1	34,4	38,0	39,8	46,8	62,3
CH_4	14,2	13,5	18,6	15,4	18,8	20,4	22,0

Gemäß der geringen Inkohlung und dem damit verbundenen hohen Sauerstoffgehalt der Brennstoffe muß sich dieser Sauerstoff auch in den Entgasungsprodukten wiederfinden, da der Koks außer den Mineralbestandteilen praktisch aus sogenanntem fixem Kohlenstoff besteht. Das zeigt deutlich die Ausbeute an Kohlensäure und Kohlenoxyd. Der Torf hat ungefähr 30 % CO_2 und 17 % CO. Mit zunehmender Inkohlung sinkt der Gehalt an CO — bei den Braunkohlen liegt er zwischen 20 und 10 % — auf ganz geringe Werte ab. Das Abfallen der CO-Kurve ist nicht so stark wie das der CO_2-Linie, aber dennoch charakteristisch für den Inkohlungsgrad. Für Steinkohlen ergibt sich ein Gehalt von 3 bis 12 %, für Braunkohlen von 12 bis 18 %. Erwartungsgemäß steigt die Kurve des Wasserstoffgehaltes steil an und zwar von 25 bis 40 % für die niederwertigen Brennstoffe, von 40 bis 65 % für Steinkohlen. Auch der Methangehalt des Gases läßt einen Anstieg zum Anthrazit hin erkennen und kennzeichnet so den Inkohlungsgrad. Der Wolfsegger Schwartling weicht hinsichtlich seines CH_4-Gehaltes von der Kurve stark ab, und zwar ist der CH_4-Gehalt bedeutend höher als zu erwarten wäre. Dolch (20) weist schon auf dieses für die österreichischen Kohlen typische Verhalten hin. Zudem fand er noch bei der Tieftemperaturentgasung außergewöhnlich hohe Gehalte an dampfförmigen und schweren Kohlenwasserstoffen, die jedoch bei der vorliegenden Hochtemperaturentgasung nicht beobachtet wurden.

Analog zum Prozentgehalt des Gases muß sich auch das spezifische Gewicht verhalten, das ebenfalls zur Kennzeichnung der Kohlen und des Inkohlungsgrades herangezogen werden kann. In bekannter Weise wurde das spezifische Gewicht des Gases nach „Schilling“ für das wassergesättigte Gas ermittelt bezogen auf wassergesättigte Luft = 1,293.

Spezifisches Gewicht des Gases.

I	II	III	IV	V	VI	VII
Torf	Hermann-grube	Wolfs-egg	Dakota	Pech-kohle	Reden-kohle	Roth-schild
1,07	1,02	0,93	0,86	0,78	0,68	0,39

Für die niederwertigen Brennstoffe mit hohem Kohlensäure- und Kohlenoxyd-Gehalt, die durch ihr verhältnismäßig hohes Molekulargewicht gegenüber Methan und vor allen Dingen Wasserstoff das spezifische Gewicht am stärksten beeinflussen, ist das spezifische Gewicht des 1000 ° — Destillationsgases ungefähr gleich 1 und sinkt zum Anthrazit hin bis auf 0,4. Die Kurve verläuft ziemlich gradlinig.

Die Gasausbeute in m^3/100 kg Reinkohle bietet ein genaueres Bild über die Verteilung der einzelnen Gase auf die Kohlen; denn in der vorhergehenden Erörterung wird wohl die prozentuale Verteilung der Gasbestandteile auf ein m^3 Gas, aber nicht die Menge der bei der Vergasung erhaltenen Anteile erfaßt. Die Angabe des Gasanteils in m^3/100 kg Reinkohle bezeichnet jeweils bis zu einem bestimmten Grade, in welchem Umfang der bei der Destillation eintretende Abbau höhermolekularer Verbindungen bis auf die niedrigsten Molekülbestandteile stattfindet, mithin unter weitgehender Zersetzung vor sich geht.

Gasanteil an CO_2, CO, H_2 und CH_4 in m^3/100 kg Reinkohle.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Torf	Hermann-grube	Wolfs-egg	Dakota	Pech-kohle	Reden-kohle	Roth-schild
Ges.-Gas	25,5	31,3	27,9	31,6	29,1	26,6	29,0
CO_2	7,16	6,32	4,69	5,31	3,56	1,89	0,29
CO	4,28	5,57	4,72	5,12	3,90	3,40	0,87
H_2	6,89	8,80	9,60	12,00	11,58	12,45	18,07
CH_4	3,62	4,23	5,19	4,86	5,47	5,43	6,38

Eine Gesetzmäßigkeit in der Ausbeute an Gesamtgas ist nur gewichtsmäßig zu beobachten, wie sie schon oben erörtert ist. Hinsichtlich ihres Volumens berechnet auf Reinkohle liegt die Gasausbeute der untersuchten Brennstoffe bei ungefähr 30 m^3, ein Wert, der nach oben und unten nicht allzu sehr überschritten wird. So ist es auch erklärlich, daß schon die Erörterung der Gaszusammensetzung in % einen wenn auch ungenauen Vergleich der Gasanteile der Verschwelung zuläßt. Im wesentlichen muß also die Tabelle VI mit der Tabelle IV übereinstimmen, was auch tatsächlich der Fall ist. Einem Ansteigen des Wasserstoffgehaltes von 6,9 auf 18,0 m^3, um ca. 160 %, läuft eine Zunahme des Methangehaltes von 3,6 auf 6,4, also um ca. 80 %, parallel. Kohlensäure und Kohlenoxyd zeigen mit zunehmender Inkohlung die erwartete abfallende Tendenz. Bei der Betrachtung des Diagramms VI zeigt sich wiederum die Ausnahmestellung des Wolfsegger Schwartling, dessen Einreihung in die Inkohlungskurve an Hand der Gasausbeuten nicht gelingen will. Die Ausbeuten an Kohlensäure und Kohlenoxyd sind niedriger, als es bei einer Kohle mit demselben Inkohlungsgrad zu erwarten ist, die Methan-Aus-

beute dagegen höher. Der Sauerstoffgehalt der Rohkohle muß sich also im Teer wiederfinden, da das Destillationsgas verhältnismäßig wenig Sauerstoff enthält.

Wärmebilanz.

Bestehen hinsichtlich der Stoffbilanz der verschiedenen festen Brennstoffe bereits Zusammenhänge, die es gestatten, Torf, Braunkohle und Steinkohle miteinander zu vergleichen und aus dem Verhalten der Kohle beim Verschwelen Schlüsse auf ihre chemische Zusammensetzung zu ziehen, so weist auch die Wärmebilanz auf Gesetzmäßigkeiten hin, die zur Kennzeichnung der Kohlen wesentlich beitragen. Es ist schon oben gesagt, daß die in Koks, Teer und Gas disponibeln Wärmemengen dem Wärmeinhalt der Kohlen nicht entsprechen können, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil bei der Entgasung die Summe der exothermen Reaktionen überwiegt. Die Größe dieser Zersetzungswärme ist in den letzten Jahren in der Kokerei- und Ofenbauindustrie zu einer heftigen Streitfrage geworden, die die Anregung zu einer Reihe von Versuchen zur sicheren Erfassung dieser Wärmetönung gab. Die meisten Versuche auf diesem Gebiet verfolgen das Ziel, die Zersetzungswärme auf direktem Wege zu bestimmen.

Strache und Grau (21) ermittelten die Zersetzungswärme verschiedener Kohlen in einer Kalorimeterbombe mit einem eingebauten kleinen elektrischen Ofen. Sie erfassen die zur Aufheizung erforderliche Wärmemenge und die beim Erkalten freiwerdende Wärme und errechnen aus der Differenz die Zersetzungswärme.

Davis und Byrne (22) benutzen zwei genau gleiche kalorimetrische Bomben, von denen sie die eine mit Kohle beschicken. Beide Kalorimeter werden mit dem gleichen Strom aufgeheizt und aus dem verschiedenen Gang der Kalorimeter die Zersetzungswärme der betreffenden Kohle errechnet.

Die umfassendsten Arbeiten der neueren Zeit auf diesem Gebiet hat Terres (23) mit seinen Mitarbeitern unternommen. Auch er führt die direkte Bestimmung der Zersetzungswärme aus, deren Beschreibung hier zu weit führen würde. Es sei nur erwähnt, daß auch diese Methode auf der kalorimetrischen Wärmebestimmung beruht. Terres unterscheidet Verkokungs- und Zersetzungswärme. Unter Verkokungswärme wird dabei die Wärmemenge verstanden, die aufgewandt werden muß, um 1 kg lufttrockene Kohle von Zimmertemperatur in Koks und gasförmige Produkte bei irgend einer bestimmten Temperatur zu verwandeln, einschließlich der Energien in Kalorien, die der äußeren Arbeitsleistung der gasförmigen Produkte entspricht. Die Zersetzungswärme stellt diejenige Wärmemenge dar, die beim Verkokungsvorgang von exothermen Vorgängen entwickelt wird bzw. zum Ablauf endothermer Reaktionen aufgewandt werden muß.

Der bei der vorliegenden Arbeit eingeschlagene Weg zur indirekten Bestimmung dieser Wärmetönung kann nicht die weitgehende Genauigkeit der direkten Bestimmung für sich in Anspruch nehmen. Dafür bietet er aber den Vorteil, die Verteilung der Kohlenwärme auf die entstehenden Entgasungsprodukte gleichzeitig erfassen und auswerten zu können. Die folgende Tabelle gibt uns ein Bild über den Anteil der Koks-, Teer- und Gaswärme am Gesamtwärmeinhalt der Kohle.

Wärmeverteilung auf Koks, Teer und Gas in % Kohlenwärme.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Torf	Hermann-grube	Wolfs-egg	Dakota	Pech-kohle	Reden-kohle	Roth-schild
Koks	52,6	53,0	55,7	63,4	65,2	67,5	83,1
Teer	19,8	19,1	18,4	12,4	12,0	12,4	0,7
Gas	15,8	18,6	17,3	17,8	17,3	15,1	14,6

Es ist ohne weiteres klar, daß der Anteil der Kokswärme dem Gehalt an Reinkoks in % der brennbaren Substanz parallel verlaufen muß, da Reinkoks als fixer Kohlenstoff definiert wird mit einem Heizwert von 8 140 WE/kg. Der Anteil der Kokswärme an der Gesamtwärme beträgt beim Torf ca. 50 %, bei den Braunkohlen zwischen 50 und 65 % und steigt beim Antrazit gemäß seiner hohen Inkohlungsstufe auf über 80 % des Gesamtwärmeinhalts. Der Anteil der Teerwärme weist eine fallende Tendenz auf mit steigender Inkohlung. Während die Stoffbilanz eine sehr hohe Teerausbeute der Wolfsegger Kohle anzeigt, ordnet sich der Wärmeinhalt dieses Teeres bei der Wärmebilanz der erwarteten Kurve gut ein, da, wie schon oben gesagt, der Wolfsegger Teer einen ungewöhnlich hohen Gehalt an Sauerstoffverbindungen hat, der sich naturgemäß in der Verbrennungswärme ausdrücken muß. Ein Heizwert von 7 390 WE/kg wasserfreien Teer ist ungewöhnlich niedrig. Für die übrigen untersuchten Braunkohlenteere und den ihnen ähnlichen Torfteer weicht der Heizwert nicht wesentlich von 9 000 WE/kg ab. Der Teerheizwert des Anthrazit kann mit 10 000 WE/kg angenommen werden. Die Herstellung dieses Teeres zur Heizwert- und Wasserbestimmung wurde nicht vorgenommen, da bei dem geringen Teergehalt von 0,6 % der Rohkohle eine zu große Anzahl von Verschwelungen in der ca. 100 g fassenden Aluminiumretorte hätte stattfinden müssen, um die zur Untersuchung nötige Teermenge herzustellen. Außerdem ist der Fehler, der durch die Einsetzung dieses Wertes in die Wärmebilanz in Betracht kommen könnte, so klein, daß er innerhalb der Fehlergrenzen des vorliegenden Analysenwegs liegen dürfte. Der Anteil der Gaswärme an der Kohlenwärme ist ziemlich konstant und beträgt zwischen 14,6 und 18,6 % der Kohlenwärme. Das Bild der Wärmeverteilung wird also wesentlich durch den Wärmeanteil des

Koks und des Teeres beeinflußt. Mit steigendem Inkohlungsgrad nimmt der Kokswärmeanteil in dem Maße zu, wie der Teerwärmeanteil abfällt. Auffallend ist die Tatsache, daß bei der Stoffbilanz der Gasgehalt in % der brennbaren Substanz für den Inkohlungsgrad kennzeichnend ist; bei der Wärmebilanz dagegen ist es der Teerwärmeanteil, der von den jüngeren zu den höher inkohlten Kohlen hin stetig abnimmt. Dieser Untersuchungsbefund ergibt also folgende Gesetzmäßigkeit im Verhalten der Kohlen bei der Verschwelung: Die Reihenordnung der Brennstoffe nach ihrem Inkohlungszustand ist für die Stoffbilanz durch den Koksgehalt und den G a s gehalt, für die Wärmebilanz durch den Kokswärmeanteil und den T e e r wärmeanteil charakterisiert.

Als wesentlicher Faktor der Wärmebilanz ist noch der Wärmeverlust zu erörtern. Diese Wärmetönung ist in der Hauptsache auf die Bildung von Zersetzungswasser, Kohlensäure und Kohlenoxyd zurückzuführen. Wie schon aus den angeführten Arbeiten über die Zersetzungswärme hervorgeht, hat die Verschwelung niederwertiger Brennstoffe einen stark exothermen Charakter, während die Verschwelung hochwertiger Steinkohlen ohne Wärmetönung oder schwach endotherm verläuft. Die in der vorliegenden Arbeit gefundenen Wärmeverluste erscheinen gegenüber den von Terres gefundenen Werten sehr hoch. Das erklärt sich aus der angewandten Differenzmethode, durch die geringe Verluste in der Stoffbilanz und damit auch in der Wärmebilanz eintreten können.

Während bei der Verschwelung des Torfs 11,8 % der Gesamtwärme aus den Entgasungsprodukten nicht wiederzugewinnen sind, nimmt der Wärmeverlust mit zunehmender Inkohlung der Brennstoffe fast gradlinig ab. So kann man die Stellung der Kohlen in der Inkohlungsreihe durch die Ermittlung des Wärmeverlustes bei der Entgasung festlegen. Bei den Braunkohlen beträgt der Wärmeverlust 5 bis 10 % der Kohlenwärme, und sinkt bei den Steinkohlen von 5 % bis auf ganz geringe Werte ab.

Daß der Wärmecharakter der Entgasung wesentlich durch die Bildung von Zersetzungswasser, Kohlensäure und Kohlenoxyd beeinflußt wird, bedarf wohl keiner Frage. Würde die Bildung dieser Produkte ohne Zwischenstufen vor sich gehen, so müßte der Wärmeverlust aus den Entgasungsverlusten zu errechnen sein und zwar nach folgenden Formeln:

$$\begin{aligned} H_2 + {}^1/_2\, O_2 &= H_2O + 34\,160 \text{ WE/kg } H_2 \\ C + {}^1/_2\, O_2 &= CO + 2\,442 \text{ WE/kg } C \\ C + O_2 &= CO_2 + 8\,080 \text{ WE/kg } C \end{aligned} \qquad (24)$$

Dieser errechnete Wärmeverbrauch ist für Torf und Braunkohlen wesentlich höher als die durch den Versuch ermittelte Zersetzungswärme und zwar um 50 bis 80 %; im Gegensatz dazu ist bei den Steinkohlen der errechnete Wert für den Wärmeverlust kleiner als der gefundene.

Vergleich des gefundenen mit dem errechneten Wärmeverlust in % der Kohlenwärme.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Torf	Hermann-grube	Wolfs-egg	Dakota	Pech-kohle	Reden-kohle	Roth-schild
best.	11,8	9,3	8,6	6,4	5,5	5,0	1,6
errech.	19,8	14,7	13,8	11,8	8,2	4,7	0,5

Aus diesem Befund ist zu schließen, **daß durch die Stoffbilanz die Wärmetönung der Entgasung nicht zu berechnen ist;** denn die Bildung von Zersetzungswasser, Kohlensäure und Kohlenoxyd geht nicht in der einfachen Art der oben eingesetzten chemischen Reaktionen vor sich, sondern eine Reihe von Zwischenstufen der Verbrennung kommen dafür in Frage, deren Erfassung nicht möglich erscheint. Außerdem werden bei dieser Voraussetzung auch die endothermen Vorgänge nicht berücksichtigt, deren Auswirkung bei der Verschwelung sicherlich eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt.

Zusammenfassung.

Aus den vorliegenden Erörterungen ergibt sich, daß zur Kennzeichnung der Kohlen die Hochtemparaturentgasung im V$_2$A-Stahlapparat in Verbindung mit der Tieftemperaturverschwelung im Aluminiumapparat eine gute Grundlage bietet. Sie ermöglicht die exakte stoffliche Aufteilung der Kohlesubstanz in Koks, Teer und Gas und damit auch die Wärmeaufteilung der Kohle in Kokswärmeanteil, Teerwärmeanteil und Gaswärmeanteil. Die Stoff- und Wärmebilanz unterliegt ganz bestimmten Gesetzmäßigkeiten, die für jede Kohle typisch sind und durch den Inkohlungsgrad des Brennstoffes gegeben sind:

1. Mit zunehmender Inkohlung sinkt das Verhältnis der flüchtigen Stoffe zum fixen Kohlenstoff von 2:1 auf 1:10.

2. Der Gehalt an Reinkoks steigt von 47 auf 90 %, der Gasgewichtsanteil sinkt gleichmäßig von ca. 40 auf 10 %.

3. Die Menge des Zersetzungswassers fällt von 19 % beim Torf gradlinig auf ganz geringe Werte ab.

4. Der Gehalt des Destillationsgases an Kohlensäure und Kohlenoxyd geht gleichmäßig zurück und erreicht für die stärkst inkohlten Produkte sehr geringe Werte.

5. Mit langsamem Ansteigen des Methangehaltes ergibt sich eine stärkere Wasserstoffzunahme.

6. Das spezifische Gewicht des Gases nimmt von 1,1 auf 0,4 ab.

7. Die Reihenordnung der Brennstoffe nach ihrem Inkohlungszustand ist für die Stoffbilanz durch den Koksgehalt und den Gasgehalt, für die Wärmebilanz durch den Kokswärmeanteil und den Teerwärmeanteil charakterisiert. Der Kokswärmeanteil steigt von 50 auf über 80 % der Kohlenwärme, während der Teerwärmeanteil von 20 % auf unter 1 % sinkt.

8. Der Wärmeverlust, der sich hauptsächlich in der Bildung von Zersetzungswasser, Kohlensäure und Kohlenoxyd ausdrückt, sinkt mit zunehmender Inkohlung von 12 % auf geringe Werte ab. Es ist jedoch nicht möglich, aus dem Gehalt an Zersetzungswasser, Kohlensäure und Kohlenoxyd auch gleichzeitig auf den erfolgten Umfang dieser Umsetzungen zu schließen und die Werte der Stoffbilanz zur Errechnung der Wärmetönung bei der Entgasung einzusetzen, da die Bildung der Zersetzungsprodukte von unbekannten Zwischenstufen der Verbrennung vor sich geht und außerdem die endothermen Vorgänge der Verschwelung rechnerisch nicht erfaßbar sind.

Literaturverzeichnis.

1. Strache-Lant: Kohlenchemie.
2. Simmersbach-Schneider: Kokschemie.
3. Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie national 1893.
4. M. Dolch: Brennstofftechnisches Praktikum (1931).
5. Brennstoffchemie I, 87 (1920).
6. Pietsch: Die Braunkohlen Deutschlands (Berlin 1925).
7. Erdmann-Dolch: Die Chemie der Braunkohle, S. 90 ff.
8. Brennstoffchemie V (1924).
9. Journal für Gasbeleuchtung 41, 746 (1898).
10. Braunkohlen- und Brikettindustrie 23, 154.
11. Strache-Lant: Kohlenchemie S. 534 ff.
12. Zeitschrift des Oberschlesischen Berg- und Hüttenmännischen Vereins 1929, VII.
13. Brennstoffchemie I, 87 (1920).
14. Erdmann-Dolch: Die Chemie der Braunkohlen, S. 274.
15. Zeitschrift des Oberschlesischen Berg- und Hüttenmännischen Vereins 1929, III.
16. Erdmann-Dolch: Die Chemie der Braunkohlen, S. 199 ff.
17. Erdmann-Dolch: Die Chemie der Braunkohlen, S. 280 ff.
18. Erdmann-Dolch: Die Chemie der Braunkohlen, S. 282.
19. Erdmann-Dolch: Die Chemie der Braunkohlen, S. 282.
20. Dolch: Braunkohle (1926), XXIV, 393.
21. Brennstoffchemie (1921), VII, 97.
22. Journ. Amer. Ceram. Soc. (1924), VII, 809.
23. Gas- und Wasserfach 1927: Terres u. Wolter.
    Gas- und Wasserfach 1928: Terres u. Meier.
    Gas- und Wasserfach 1931: Terres u. Voituret.
24. Paul Fuchs: Wärmetechnik des Gasgenerator und Dampfkesselbetriebes.

	I Torf	II Hermann-grube	III Wolfs-egg	IV Dakota	V Pech-kohle	VI Reden-kohle	VII Roth-schild
Immediatanalyse:							
1. Wasser . . . . . % . . .	11,4	47,0	32,8	37,9	11,8	14,0	1,1
2. Asche . . . . . % . . .	1,9	5,1	2,3	4,1	7,8	3,6	2,6
3. Fixer Kohlenstoff . . . % . . .	30,7	17,7	25,0	29,6	44,3	52,2	87,5
4. Flüchtige Stoffe . . . % . . .	56,0	30,2	39,9	28,4	36,1	30,2	8,8
	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
5. Koksausbeute . . . . % . . .	32,6	22,8	27,3	33,7	52,1	55,8	90,1
6. Reinkohlegehalt . . . % . . .	86,7	47,9	64,9	58,0	80,4	82,4	96,3
Entgasung ausgegart bis 1000°:							
7. Koks . . . . . % . . .	32,9	22,6	29,6	33,6	51,5	55,8	87,6
8. Teer . . . . . % . . .	10,1	6,0	10,0	5,0	7,7	8,6	0,6
9. Wasser, insgesamt . . . % . . .	31,0	55,3	44,7	46,2	21,2	20,3	2,0
10. Gas und Verlust . . . % . . .	26,0	16,1	15,7	15,2	19,6	15,3	9,8
% . . .	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
11. Zersetzungswasser . . . % . . .	16,4	6,7	9,9	7,0	7,8	5,0	0,5
12. Asche im Koks . . . % . . .	5,6	22,6	7,8	12,1	15,1	6,4	3,0
13. Kohleheizwert, oberer . WE/kg . .	4 770	2 872	4 010	3 752	5 657	6 310	8 300
14. Koksheizwert, oberer . WE/kg . .	7 628	6 603	7 550	7 078	7 157	7 625	7 875
15. Teerheizwert, oberer . WE/kg . .	9 380	9 180	7 390	9 303	8 810	8 872	10 000
16. Wasserwert, kryohydratisch % . . .	14,6	48,6	34,8	39,2	13,4	16,3	1,5

Gasanteil der Kohle in %:

17. Schwefelwasserstoff . . % . . .	1,6	6,6	0,9	0,4	3,6	0,4	—
18. Kohlensäure . . . . . % . . .	28,1	20,2	16,8	16,8	12,2	7,1	1,0
19. Dampfförmige Kohlenwasserstoffe . . . . . % . . .	1,6	1,0	0,7	1,0	1,2	1,3	—
20. Schwere Kohlenwasserstoffe . . . . . % . . .	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	1,0	0,2
21. Sauerstoff . . . . . % . . .	1,4	1,8	1,6	1,4	1,7	1,8	1,8
22. Kohlenoxyd . . . . . % . . .	16,8	17,8	16,9	16,2	13,4	12,8	3,0
23. Wasserstoff . . . . . % . . .	27,0	28,1	34,4	38,0	39,8	46,8	62,3
24. Methan und Homologe . % . . .	14,2	13,5	18,6	15,4	18,8	20,4	22,0
25. Stickstoff als Rest . . . % . . .	8,6	10,2	9,2	9,8	8,4	8,4	9,7

Gasanteil d. Kohle in m³/100 kg Rohkohle:

26. Gesamtgas (0°, 760 mm) m³/100 kg	22,1	15,0	18,1	18,3	23,4	21,9	27,9
27. Schwefelwasserstoff . . . „	0,35	0,99	0,16	0,07	0,84	0,09	—
28. Kohlensäure . . . . . „	6,21	3,03	3,04	3,08	2,86	1,55	0,28
29. Dampfförmige Kohlenwasserstoffe . . . . . „	0,35	0,15	0,14	0,18	0,28	0,28	—
30. Schwere Kohlenwasserstoffe „	0,15	0,12	0,16	0,18	0,21	0,22	0,06
31. Sauerstoff . . . . . „	0,31	0,27	0,29	0,26	0,40	0,39	0,50
32. Kohlenoxyd . . . . . „	3,72	2,76	3,06	2,96	3,14	2,80	0,84
33. Wasserstoff . . . . . „	5,97	4,20	6,22	6,95	9,31	10,26	17,37
34. Methan und Homologe . . „	3,14	2,04	3,36	2,82	4,40	4,47	6,14
35. Stickstoff als Rest . . . „	1,90	1,53	1,67	1,80	1,96	1,84	2,71
36. Spezifisches Gewicht des Gases . .	1,07	1,02	0,90	0,86	0,78	0,68	0,39
37. Heizwert des Gases berechnet WE/m³	3 360	3 500	3 720	3 570	4 110	4 300	4 100
38. Heizwert des Gases bestimmt WE/m³	3 402	3 558	3 822	3 651	4 168	4 350	4 328

Lebenslauf.

Am 4. Mai 1902 bin ich, Karl Eugen Adolf Rintelen, in Ahlen (Westf.) als Sohn des jetzigen Oberlandesgerichtsrats i. R. Geheimen Justizrats Clemens Rintelen geboren. Nach Besuch der Gymnasien in Hamm und Werl absolvierte ich in Werl die Reifeprüfung im Sommer 1922. Vom SS. 1923 bis zum WS. 1925 studierte ich in Clausthal und legte dort die Vorprüfung für Eisenhüttenleute ab. Bis zum Juli 1928 war ich dann in Aachen als Student der Eisenhüttenkunde immatrikuliert und bestand am 20. Juli die Diplomhauptprüfung. Meine praktische Tätigkeit übte ich in folgenden Betrieben aus:

I. an den Vereinigten Stahlwerken Abt. Westfälische Union Hamm: als Praktikant in den Jahren 1922 bis 1924, insgesamt 14 Monate: in der Gießerei, Modellschreinerei, elektrischen und mechanischen Werkstatt und Drahtstraße.

II. an den Klöcknerwerken Abt. Mannstädtwerke Troisdorf: als Praktikant vom 1. August 1925 bis 8. Oktober 1925 im Hochofenlaboratorium.

III. an den Vereinigten Stahlwerken Abt. August-Thyssenhütte Hamborn als Ingenieurpraktikant vom 27. August 1928 bis 15. August 1929 im Maschinenbetrieb Hochofen, Hochofenbetrieb und Maschinenbetrieb Stahl-Walzwerk I.

Die Zeit der dann folgenden Stellungslosigkeit habe ich zu meiner Weiterbildung benutzt und unter Leitung von Herrn Prof. Dolch vorliegende Arbeit angefertigt. Nach dem plötzlichen Tode des Herrn Professors Dolch, dem ich für seine Hilfe und Unterstützung bei der vorliegenden Arbeit vielen Dank schulde, hat sich Herr Geheimrat Vorländer zuvorkommender Weise bereit erklärt, vorliegende Arbeit als Promotionsdissertation anzunehmen. An dieser Stelle spreche ich Herrn Geheimrat Vorländer meinen aufrichtigsten Dank aus.